

矿化垃圾中植物大量营养元素含量的剖面分布特征

赵海涛, 王小治, 徐轶群, 王爱礼, 封克

(扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:对经长期填埋后已稳定化的垃圾进行开采和资源化利用,能增加现有填埋场库容,对解决城市生活垃圾填埋场紧张的现状具有重要意义。以一个已运行 10 a 以上的垃圾填埋场为研究对象,对已填埋 6、8、10 a 的矿化垃圾中一些植物大量营养元素的剖面分布进行了测定。结果表明:(1)矿化垃圾中氮、磷、钾养分的浓度总和已达到国家有机肥养分含量标准,有机质含量也明显高于土壤的有机质含量,从植物养分供应的角度看,矿化垃圾可具有资源化利用的价值;(2)矿化垃圾中养分主要以氮素为主,磷、钾营养元素的总量较低,但速效态含量相对较高;(3)不同填埋深度的矿化垃圾中,主要营养元素的含量大部分在填埋 8~10 a 后达到相对稳定的状态,但受矿化垃圾组成成分复杂性的影响,部分形态营养元素的变化规律不明显。

关键词:植物营养元素;矿化垃圾;变化特征

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)09-1980-07

Distribution of Plant Macro-elements in Profile of Aged Refuse

ZHAO Hai-tao, WANG Xiao-zhi, XU Yi-qun, WANG Ai-li, FENG Ke

(College of Enviro. Sci. and Engin., Yangzhou Univ., Yangzhou 225009, China)

Abstract: The exploitation and reuse of stabilized refuse after long-term landfill is one of the ways to save the space for landfill of municipal solid waste. In this study, we chose a landfill settlement, which had been run for longer than 10 years, in the suburb of Jiangdu City, and sampled the refuse (aged 6, 8, 10 years, respectively) at different depth to investigate the changing characteristics of C, N, P and K in the refuse profile. Results showed that: (1) Total N, P and K in aged refuse had reached national criteria of organic manure and organic matter content also exceeded that in soil. Therefore, the aged refuse could be directly used as organic fertilizer products. (2) N was the main nutrient in aged refuse, while total P and K were lower. However, the content of rapidly-available P and K was relatively high. The content of rapidly-available N and K increased significantly with landfill time. But the highest content of P appeared in 6~8 years after landfill. (3) After 8~10 years landfill, most of plant nutrients tested in the refuse in different depth were relatively stable, while some of them kept changing due to the complicated composition of the aged refuse.

Keywords: plant nutrients; aged refuse; characteristics

随着我国城市数量增加,人口增多以及人民生活水平的提高,城市生活垃圾正以年均 8%~10% 的速度迅速增加^[1]。垃圾的逐年增多已成为当今重大的环境问题之一,也成为环境学家研究的热点和难点^[2-8]。城市生活垃圾的处理方法很多,主要有堆肥法、填埋法、焚烧法、回收和综合利用等,其中填埋处理技术由于

无需对垃圾进行预处理,建设投资少、运行费用低、技术要求不高,且可以回收填埋气(沼气)等优点,已成为目前一些国家的主要垃圾处理方式。在我国,由于生活垃圾的高含水率、低发热量特性以及卫生填埋技术的经济性,70% 以上的城市垃圾也采用卫生填埋的方式进行消纳^[9]。我国城市生活垃圾的厨余垃圾含量高、含水率高、热值低以及垃圾成分复杂的特性也决定了在今后相当长的一段时间内,填埋处理技术仍将是我国城市生活垃圾的主要处理方式^[10-12]。但随着生活垃圾量的日益增多,填埋场用地越来越紧张,如何解决新增垃圾的出路问题引起了国内广大城市的关

收稿日期:2009-02-10

基金项目:江苏省“环境材料与环境工程”重点实验室资助项目

作者简介:赵海涛(1977—),男,江苏射阳人,博士研究生,讲师,主要从事有机固废处理研究。E-mail:htzhao@yzu.edu.cn

通讯作者:封克 E-mail:fengke@yzu.edu.cn

注。开挖填埋场长期填埋后已稳定化的垃圾,并对开采出来的垃圾进行资源化利用,则能增加现有填埋场库容,延长填埋场的实用寿命^[9]。把开采出来的垃圾中的有机部分作为营养土或有机肥源是资源化利用的主要途径之一,因此掌握城市生活垃圾长期填埋后矿化垃圾中的植物营养元素的存在特征,对于资源化利用长期填埋后的城市生活垃圾具有重要意义。

目前,国内外对填埋后的生活垃圾的研究主要集中在垃圾以及垃圾渗滤液中重金属元素、有机污染物的迁移转化规律以及对环境的影响。但对长期填埋后的营养成分以及在农业上的利用可行性方面的研究相对较少。而实际上,矿化垃圾由于形成过程和机理的特殊性,具有许多土壤所无法比拟的优越性,如有良好的多孔结构和巨大的表面积、氮磷钾营养物质含量高、微生物相对丰富等优点。有鉴于此,本研究以一个已运行 10 a 以上的垃圾填埋场为研究对象,对矿化垃圾中的 C、N、P、K 等植物大量营养元素的存在特征进行研究,为将长期填埋后的城市生活垃圾进行资源化再利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验样品采自江都市郊垃圾填埋场。通过垃圾填埋场管理记录,确定不同填埋时间的垃圾区域,最终确定采取填埋 6、8、10 a 的垃圾。采取随机采样的方法,每个年份确定 5 个采样点。由于现场采样时发现,垃圾填埋场在 1~1.5 m 处水分含量有明显的增加,故分 3 层取样,即表层(0~50 cm)、中间层(50~100 cm)和积水层(100~150 cm)。采样时先将表层花草和表层覆盖土(40 cm 左右厚)铲去,开挖垂直剖面,分 3 层取样,每层取样重约 100 kg。采用现场人工分选的方法去除垃圾中的树棍、石头、塑料袋等大块物质,得到类似土壤状的灰色物质即为生活垃圾长期填埋后的灰分物质。将四分法得到最后样品带回实验室风干,研磨过 80 目筛备用。生活垃圾在垃圾填埋场相对封闭的环境条件下,经过 6~8 a 以上的多阶段物理、化学和生物稳定化过程后,形成的性质和组分已相对稳定,类似于土壤的物质有人将其称为矿化垃圾^[13],因此本研究中将得到的灰分物质通称为矿化垃圾。另采取垃圾填埋场周围的农田耕层土壤为试验对照(CK)。填埋 6 a 后的矿化垃圾 0~50 cm 深度的样品用 R6-1 表示,50~100 cm 深度的样品用 R6-2 表示,100~150 cm 深度的样品用 R6-3 表示。填埋 8 a 和

10 a 后的矿化垃圾相应深度的样品分别用 R8-1、R8-2、R8-3 和 R10-1、R10-2、R10-3 表示。

1.2 分析方法

土壤及矿化垃圾中的有机质采用 $K_2Cr_2O_7$ 容量法测定,全氮采用凯氏定氮法测定, NH_4^+-N 采用碱解扩散法测定, $NO_3^- - N$ 采用紫外分光光度法测定,全磷采用 $HClO_4-H_2SO_4$ 消煮、钼蓝比色法测定,速效磷采用 $NaHCO_3$ 浸提、钼蓝比色法测定,有机磷采用灼烧法测定,全钾采用 $NaOH$ 熔融-火焰光度法测定,速效钾采用 NH_4OAc 浸提、火焰光度法测定^[14]。

2 结果与分析

2.1 矿化垃圾剖面中有机质含量的分布

城市生活垃圾长期填埋后,其矿化垃圾中有机质含量仍然较高,明显大于一般土壤的有机质含量。图 1 显示,生活垃圾填埋 6 a 后,在采样全剖面的矿化垃圾中有机质的平均含量在 $90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,是对照(CK)土壤的 15 倍左右。填埋时间不同,矿化垃圾中的有机质含量在垂直剖面上的分布有所不同。填埋 6 a 后,样品 R6-2 的有机质含量最高,达到 $133.70\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,填埋 8 a 后,有机质含量随填埋深度的增加而增加,填埋 10 a 后,有机质含量随填埋深度的增加变化不大。相同深度在填埋不同时间条件后的垃圾,其有机质含量的变化规律也不相同。对在 0~50 cm 和 50~100 cm 的剖面层次来说,随填埋时间的延长,有机质的含量呈先下降后上升的趋势,而对 100~150 cm 的层次来说,有机质含量随填埋时间的推移呈逐步下降的趋势,但下降的幅度不大。

总的来看,在垃圾填埋过程中,50~100 cm 剖面层次的有机质含量变化最大。可能的原因是表层(0~50 cm)和底层(100~150 cm)的垃圾分别处于较典型

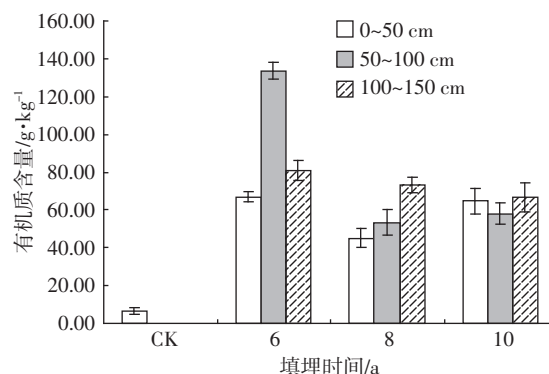


图 1 矿化垃圾剖面中的有机质含量

Figure 1 Organic matter content in sections of aged refuse

的好氧条件或厌氧条件,所以 6 a 后两个剖面层次的有机质均已达到较稳定的状态,随着时间的进一步延长,其含量也变化不大。但 50~100 cm 的剖面不断处于好氧与厌氧的交替过程,因此该层的有机质在 6~8 a 间还有较大的变化。

2.2 矿化垃圾剖面中全氮、铵态氮、硝态氮含量的分布

由图 2 可知,生活垃圾长期填埋后其全氮含量明显比土壤(CK)中的高。土壤中全氮含量为 $2.33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而填埋 6 a 后表层(0~50 cm)矿化垃圾的全氮含量为 $6.84 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是 CK 的近 3 倍。填埋不同时间后全氮在不同剖面层次的含量变化有所不同。填埋 6 a 后,全氮的含量随填埋深度的增加先上升后下降。填埋 8 a 后,全氮的含量随填埋深度的增加而增加。而填埋 10 a 后,全氮含量变化与填埋 6 a 的情况相反,先下降后上升,但是变化幅度不大。对相同填埋深度的垃圾来说,填埋时间的不同对全氮含量的影响也不一样。填埋深度为 0~50 cm 和 50~100 cm 的矿化垃圾,其全氮含量随填埋时间推移呈先下降后上升的趋势,而 100~150 cm 剖面层次的全氮含量随填埋时间的推移呈先上升后下降的趋势。

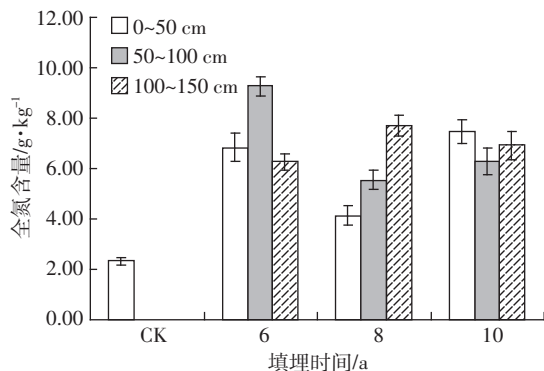


图 2 矿化垃圾剖面中的全氮含量

Figure 2 Total nitrogen content in sections of aged refuse

由图 3 可知,生活垃圾填埋 6 a 后,全层矿化垃圾中 NH_4^+-N 含量均低于一般土壤中的含量。如填埋 6 a 后,矿化垃圾中 NH_4^+-N 的含量在 100~150 cm 剖面层次中的含量最高仅为 $85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而土壤中 NH_4^+-N 的含量为 $118 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,前者比后者少 $33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。随着填埋时间的增加,矿化垃圾中全剖面中的 NH_4^+-N 的浓度相应增加,特别是在 50~100 cm 和 100~150 cm 两个层次中, NH_4^+-N 含量在 8 a 后达到较稳定的状态。

图 4 显示,从总量上看,生活垃圾填埋 6 a 后的

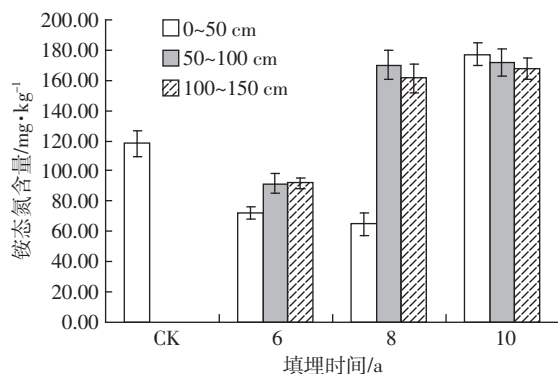


图 3 矿化垃圾中不同剖面的铵态氮含量

Figure 3 Ammonium content in sections of aged refuse

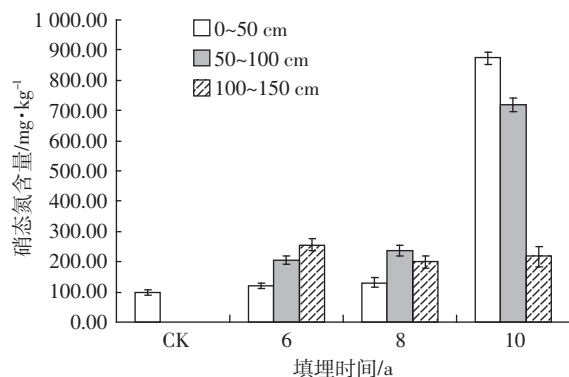


图 4 矿化垃圾不同剖面中的硝态氮含量

Figure 4 Nitrate content in sections of aged refuse

矿化垃圾中,硝态氮含量要小于填埋 10 a 后的硝态氮含量。就表层(0~50 cm)而言,填埋 10 a 后的硝态氮含量是填埋 6 a 时的近 6 倍,这可能是因为表层的矿化垃圾受地表环境,如雨水、植被等影响较大,随着填埋时间的推移有机氮矿化过程发生跃变,导致硝态氮在填埋 10 a 后急剧上升。从硝态氮在剖面中的分布上看,填埋 6 a 与填埋 10 a 的情况也有所不同。在填埋 6 a 后,硝态氮含量有随剖面深度增加而增加的趋势,而在填埋 10 a 后,硝态氮浓度随填埋深度的增加而减少。值得注意的是,矿化 6、8 和 10 a 的垃圾中,在 100~150 cm 层次的硝态氮含量大致相等,这很可能与该层次的水分含量较高且比较恒定,使得由于淋洗而进入到该层次的硝态氮处于一个较为稳定的氧化还原条件有关。

2.3 矿化垃圾剖面中总磷、速效磷、有机磷含量的分布

由图 5 可以看出,生活垃圾经长期填埋后,其矿化垃圾中全磷的含量与土壤中全磷的含量基本相当。从填埋时间的影响看,填埋 6 a 后,全磷的浓度随填埋深度的增加而增加,而填埋 10 a 后,全磷的浓度随

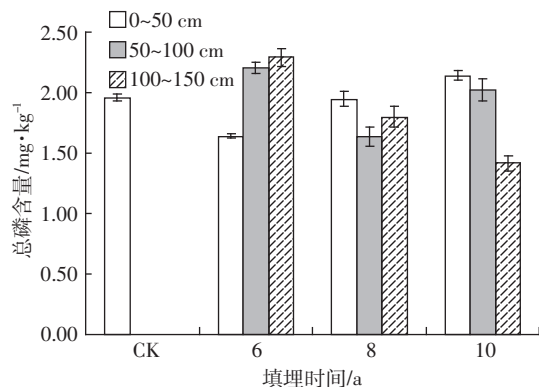


图 5 矿化垃圾剖面中总磷含量的分布特征

Figure 5 Total phosphorous content in sections of aged refuse

埋藏深度的增加呈下降的趋势。就相同的埋藏深度比较,表层(0~50 cm)全磷浓度随埋藏时间的增加呈上升的趋势,中层(50~100 cm)全磷含量随埋藏时间的增加呈先下降后上升的趋势,下层(100~150 cm)全磷浓度随埋藏时间的延长而呈现下降趋势。

生活垃圾长期埋藏后矿化垃圾中的速效磷浓度要比对照土壤中速效磷浓度高,从图 6 中可以看到,埋藏 6~10 a 后矿化垃圾中表层的速效磷平均浓度为 $55.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是对照土壤的 1.7 倍。矿化垃圾中速效磷浓度在不同埋藏深度随时间的变化均呈下降的趋势,但表层下降的趋势不明显,呈基本平衡的状态,而埋藏深度在 50 cm 以下的矿化垃圾中速效磷浓度在埋藏 10 a 后下降趋势比较明显。矿化垃圾中速效磷浓度在不同时间后的变化特征各不相同,埋藏 6 a 后,速效磷的浓度随埋藏深度的增加呈先上升后下降的趋势,而埋藏 8 a 后速效磷浓度呈表层低,中间层和底层基本相等的特点,在埋藏 10 a 后速效磷的浓度随埋藏深度的增加而呈下降的特征。

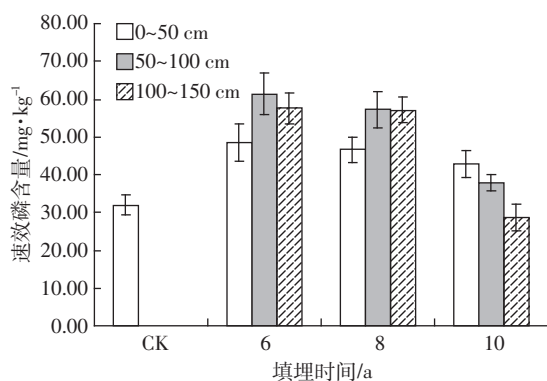


图 6 矿化垃圾剖面中速效磷含量的分布特征

Figure 6 The available phosphorous content in sections of aged refuse

对于植物的磷素营养,传统研究中较多关注无机磷及其有效性,但越来越多的研究表明,有机态磷对植物的生长发育也起到非常重要的作用。从图 7 可以看到,生活垃圾埋藏 6 a 后,表层矿化垃圾中有机磷的含量略低于或高于土壤中有机磷的含量,但下层矿化垃圾中的有机磷含量则明显低于土壤有机磷含量。从剖面层次上看,表层和中间层有机磷含量高于底层的有机磷含量(8 a 时的情况除外)。

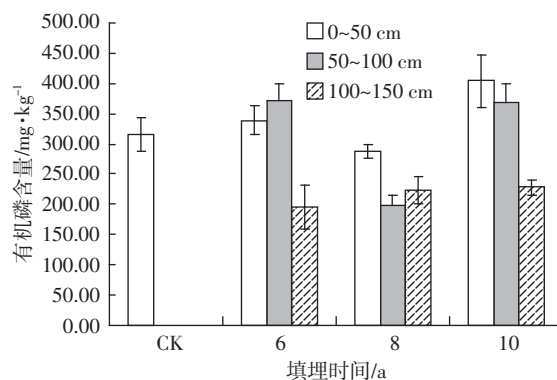


图 7 矿化垃圾剖面中有机磷含量的分布特征

Figure 7 The organic phosphorous in sections of aged refuse

2.4 矿化垃圾中全钾、速效钾浓度的变化特征

图 8 显示,生活垃圾埋藏 6 a 后,矿化垃圾中全钾的含量与土壤全钾的含量相近,随着埋藏时间的延长,全钾的含量还有所上升,这与长期埋藏后可矿化物质的减少、含钾物质的相对含量增加有关。

图 9 显示,生活垃圾经长期埋藏后的矿化垃圾中,速效钾的含量要比土壤中高得多。如埋藏 6 a 后全剖面内(0~150 cm)速效钾的平均含量为 $320.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是对照土壤的 5 倍。随着埋藏时间的推移,中层和下层速效钾含量还会明显上升。结合全钾的分

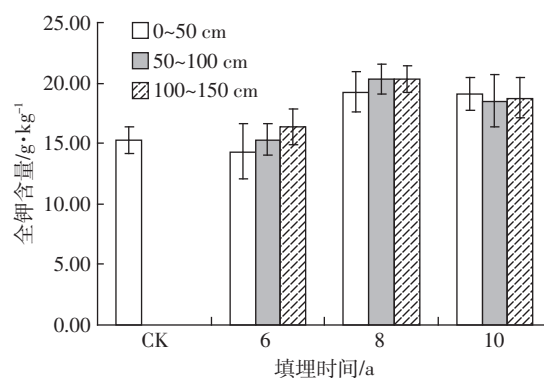


图 8 矿化垃圾剖面中全钾含量的分布特征

Figure 8 The change of total potassium in aged refuse

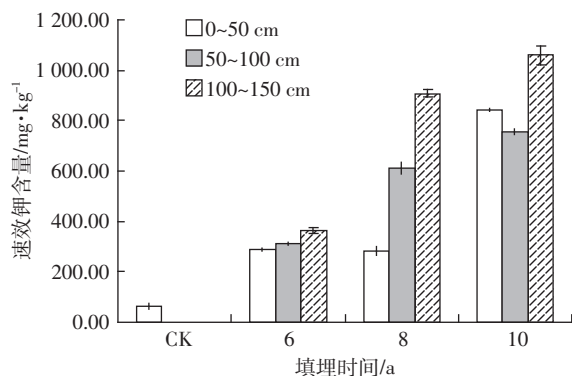


图9 矿化垃圾剖面中速效钾含量的分布特征

Figure 9 Exchangeable available potassium content in sections of aged refuse

析结果看(图8),如果将矿化垃圾用于农田,尽管并不会增加土壤中的全钾含量,但会大大增加土壤中的速效钾成分,因此还是有一定价值的。

3 讨论

矿化垃圾由于形成过程和机理的特殊性,具有许多土壤所无法比拟的优越性,如有良好的多孔结构和巨大的表面积、氮磷钾营养物质含量高、微生物相当丰富等优点^[15]。袁雯等认为矿化垃圾营养成分和有机质含量较高,可改善土壤贫瘠状况,其添加质量分数在50%~75%合适,对植物生长有利^[16]。本研究也表明矿化垃圾中氮、磷、钾养分的浓度总量已达到国家有机肥养分浓度标准。

李世清等认为季节性变化、种植作物和施肥对土壤剖面的无机氮的分布和再分布有显著的影响^[17]。韩晓日等认为长期施用磷肥和有机肥可以使棕壤0~20 cm的各形态无机磷大量积累,随土层的加深各形态无机磷含量逐渐减少^[18-20]。吕殿青等研究表明土层中硝态氮残留量是随灌水量的增多而减少^[21]。同延安等认为黄绵土由于粘粒含量少,土壤疏松,氮肥施入土壤后硝化作用速度快,氮素多以硝态氮存在于土壤中。陕南水稻土由于深层土壤水饱和,硝酸盐难以向下淋移,氮素主要累积在土壤表层^[22]。陆安祥等认为表层土壤受人类农业活动的影响,不同利用类型的土壤性质差别较大,且在20~40 cm剖面的土壤中的有机质、速效磷、全磷、硝态氮、全氮等含量都有大幅的下降。深层土壤受人类活动影响较小,在80~100 cm剖面处各种类型土壤性质差别不大,与硝态氮相比,速效磷的积累在60~80 cm就已经不明显^[23]。马力等认为长期施肥使土壤表层氮素累积量明显增加,土壤剖面含氮量分布曲线呈

“S”形。在0~20 cm土层施有机肥处理的含氮量普遍高于施化肥处理,而40~50 cm土层含氮量差异较小^[24]。可见土壤中各养分的存在形态和分布状况受季节、土壤质地、施肥等环境因素的影响而各不相同。

就本研究中所采集样品的分析结果来看,矿化垃圾在表层(0~50 cm)中的 NO_3^- -N、总磷,中层(50~100 cm)中的 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、速效钾,底层(100~150 cm)中的 NH_4^+ -N、有机磷、速效钾等含量随填埋时间的增加呈上升的趋势。矿化垃圾在表层(0~50 cm)和中层(50~100 cm)深度中的速效磷,底层(100~150 cm)中的有机质、总磷、速效磷呈下降的趋势。矿化垃圾在表层(0~50 cm)中的有机质、总氮、 NH_4^+ -N、有机磷、速效钾含量,中层(50~100 cm)中的有机质、总氮、总磷、有机磷含量,底层(100~150 cm)中的 NO_3^- -N含量呈先下降再上升的趋势。矿化垃圾在表层(0~50 cm)和中层(50~100 cm)中的总钾含量,底层(100~150 cm)中的总氮和总钾含量呈先上升后下降的趋势。总的趋势是:矿化垃圾中的3种植物大量营养元素各形态的变化在填埋8~10 a后趋于稳定。矿化垃圾在表层中的各营养元素的变化幅度要比底层大,这可能与主要由于表层矿化垃圾受外界环境,如降雨、光照、温度、土壤生物等影响较大有关。表层中水分含量相对较少,通气性能好,各种好养微生物活动频繁,同时表层矿化垃圾受外界环境,如降雨、光照、温度、土壤生物等影响较大,所以其各种养分含量变化幅度较大;而底层长期处于水分过饱和状态,环境变化幅度相对较小,故各种形态养分浓度变化幅度相对较小。

本试验是对同一垃圾填埋场不同填埋年限和不同填埋深度垃圾的测定结果。此处的不同填埋时间是指截止采样时已经达到的填埋时间,而并非在同一填埋点在填埋6、8、10 a后采样测定的结果。由于不同年代填埋垃圾本身的成分可能会有较大的差异,所以文中尽管对不同年代矿化垃圾的一些营养元素含量进行了比较,但只能作为一种参考。在同一采样点不同剖面层次的测定结果反映了不同填埋深度对矿化垃圾中营养元素含量的分布特征,而该项指标是在同一采样点得到的,就填埋时间和填埋的垃圾物质组成而言应该是较为一致的,因此是比较可靠的参考数据。

4 结论

(1)矿化垃圾中氮、磷、钾养分的浓度总和已达到国家有机肥养分浓度标准,有机质的含量也明显高于土壤中的含量,从植物养分供应的角度看,矿化垃圾

具有资源化利用的价值。

(2)矿化垃圾中养分主要以氮素为主,磷、钾营养元素的总量较低,但速效态含量较高。

(3)不同填埋深度的矿化垃圾中,主要植物营养元素的含量大部分在填埋8~10 a后达到相对稳定的状态,但受矿化垃圾组成成分复杂性的影响,部分形态营养元素的变化规律不明显。

参考文献:

- [1] 王文超, 张 华. 垃圾填埋场中有机污染物的生物降解[J]. 有色冶金设计与研究, 2007, 28(2-3): 164-168.
WANG Wen-chao, ZHANG Hua. Biodegradation of organic pollutants in solid waste landfill site[J]. *Nonferrous Metals Engineering & Research*, 2007, 28(2-3): 164-168.
- [2] 张树军, 王淑莹, 毛心慰, 等. 高氨氮垃圾渗滤液高效生物脱氮[J]. 中国环境科学, 2008, 28(3): 225-228.
ZHANG Shu-jun, WANG Shu-ying, MAO Xin-wei, et al. Highly effective biological nitrogen removal from high ammonia landfill leachate[J]. *China Environmental Science*, 2008, 28(3): 225-228.
- [3] 刘大超. 矿化垃圾生物反应床处理垃圾渗滤液[J]. 金属矿山, 2008, 281(3): 138-140.
LIU Da-chao. Treating landfill leachate by mineralized refuse bioreactors[J]. *Metal Mine*, 2008, 281(3): 138-140.
- [4] 刘 强, 陈 荣, 张晓岚, 等. 生物滤池净化城市生活垃圾 BMT 发酵恶臭气体的研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1441-1445.
LIU Qiang, CHEN Rong, ZHANG Xiao-lan, et al. Removal of odors from fermentation process of MSW biological mechanical treatment using compost biofilter[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(5): 1441-1445.
- [5] 何 岩, 赵由才, 柴晓利, 等. 生活垃圾堆放场和填埋场矿化垃圾中磷的形态及其磷素活化[J]. 环境化学, 2008, 27(1): 76-79.
HE Yan, ZHAO You-cai, CHAI Xiao-li. Phosphorus fractions and activation in aged refuse from municipal solid waste dumping site and landfill[J]. *Environmental Chemistry*, 2008, 27(1): 76-79.
- [6] Vogg H, Braun H, Metzger M, et al. The specific role of cadmium and mercury in municipal solid waste incineration[J]. *Waste Management & Research*, 1986(4): 65-74.
- [7] Flyhammar P. Estimation of heavy metal transformations in municipal solid waste[J]. *Sci Total Environ*, 1997, 198(2): 123-133.
- [8] 林建伟, 王里奥, 赵建夫, 等. 三峡库区生活垃圾的重金属污染程度评价[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 104-108.
LIN Jian-wei, WANG Li-ao, ZHAO Jian-fu, et al. Evaluation of heavy metal pollution degree in refuses in Three Gorges Region [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(1): 104-108.
- [9] 阳小霜, 赵由才. 生活垃圾填埋场矿化垃圾的开采与综合利用[J]. 有色冶金设计与研究, 2007, 28(2-3): 151-154.
YANG Xiao-shuang, ZHAO You-cai. Excavation and comprehensive utilization of aged refuse in MSW landfill[J]. *Nonferrous Metals Engineering & Research*, 2007, 28(2-3): 151-154.
- [10] 钱小青, 牛东杰, 楼紫阳, 等. 填埋场矿化垃圾资源综合利用研究进展[J]. 环境卫生工程, 2006, 14(2): 62-64.
QIAN Xiao-qing, NIU Dong-jie, LOU Zi-yang, et al. Development of resource comprehensive application study on mineralized waste in landfill site[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2006, 14(2): 62-64.
- [11] 李 雄, 徐迪民, 赵由才, 等. 生活垃圾填埋场矿化垃圾分选研究[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(7): 481-484.
LI Xiong, XU Di-min, ZHAO You-cai, et al. Classification study of aged refuse in a closed landfill[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2006, 28(7): 481-484.
- [12] 詹艳慧, 王里奥, 林建伟. 生活垃圾堆放场及填埋场矿化垃圾综合利用研究进展[J]. 环境卫生工程, 2006, 13(6): 52-55.
ZHAN Yan-hui, WANG Li-ao, LIN Jian-wei. Research development of comprehensive utilization of stabilization refuse in domestic waste dumping sites and landfill sites[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2006, 13(6): 52-55.
- [13] 郭亚丽, 赵由才, 徐迪民. 上海市老港生活垃圾填埋场陈垃圾的基本特性研究[J]. 上海环境科学, 2002, 21(11): 669-671.
GUO Ya-li, ZHAO You-cai, XU Di-min. Study on basic characteristics of aged refuse at Shanghai Laogang landfill[J]. *Shanghai Environmental Science*, 2002, 21(11): 669-671.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
LU Ru-kun. Methods of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science Press, 2000.
- [15] 李 华, 赵由才. 填埋场稳定化垃圾的开采、利用及填埋场土地利用分析[J]. 环境卫生工程, 2000, 8(2): 56-57.
LI Hua, ZHAO You-cai. The exploitation of stabilizing solid waste and the utilization analysis for the land of landfill site[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2000, 8(2): 56-57.
- [16] 袁 雯, 张 琪, 方海兰, 等. 矿化垃圾混配种植介质的盆栽实验研究[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(1): 52-56.
YUAN Wen, ZHANG Qi, FANG Hai-lan, et al. Use of aged refuse as growing medium in potted greenery plants[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2008, 30(1): 52-56.
- [17] 吴金水, 郭胜利, 党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J]. 生态学报, 2003(10): 2024-2049.
WU Jin-shui, GUO Sheng-li, DANG Ting-hui. Mechanisms in the accumulation and movement of mineral N in soil profiles of farming land in a semi-arid region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003(10): 2024-2049.
- [18] 韩晓日, 马玲玲, 王晔青, 等. 长期定位施肥对棕壤无机磷形态及剖面分布的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 51-55.
HAN Xiao-ri, MA Ling-ling, WANG Ye-qing, et al. Effects of long-term fertilization on inorganic phosphorus forms and profile distribution in brown soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4): 51-55.
- [19] 王 平, 李凤民, 刘淑英, 等. 长期施肥对黑垆土无机磷形态的影响研究[J]. 土壤, 2005, 37(5): 534-540.
WANG Ping, LI Feng-min, LIU Shu-ying, et al. Effects of long-term fertilization on forms of inorganic phosphorus in calcic kastanoz-ems[J]. *Soils*, 2005, 37(5): 534-540.

- [20] 单艳红, 杨林章, 沈明星, 等. 长期不同施肥处理水稻土磷素在剖面的分布与移动[J]. 土壤学报, 2005, 42(6):970-976.
- SHAN Yan-hong, YANG Lin-zhang, SHEN Ming-xing. Accumulation and downward transport of phosphorus in paddy soil in long-time fertilization experiments[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(6):970-976.
- [21] 吕殿青, 同延安, 孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1):8-15.
- LV Dian-qing, TONG Yan-an, SUN Ben-hua. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 1998, 4(1):8-15.
- [22] 同延安, 石 维, 吕殿青. 陕西三种类型土壤剖面硝酸盐累积、分布与土壤质地的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4):435-441.
- TONG Yan-an, SHI Wei, LV Dian-qing. Relationship between soil texture and nitrate distribution and accumulation in three types of soil profile in Shaanxi[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(4):435-441.
- [23] 陆安祥, 赵云龙, 王继华, 等. 不同土地利用类型下氮、磷在土壤剖面中的分布特征[J]. 生态学报, 2007, 27(9):3923-3929.
- LU An-xiang, ZHAO Yun-long, WANG Ji-hua, et al. Distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in agricultural soil profiles under different land use[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9):3923-3929.
- [24] 马 力, 杨林章, 慈 恩, 等. 基于长期定位试验的水稻土氮素剖面分布及养分供应特性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4):116-127.
- MA Li, YANG Lin-zhang, CI En, et al. Profile distribution of nitrogen and nutrient supply characteristics of paddy soil based on long-term fertilization experiment[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4):116-127.